

OPTIMASI MULTIRESPON UNTUK RANCANGAN MIXTURE PADA PEMBUATAN PEREKAT BODY MOBIL LISTRIK BASED PVAc (Polyvinil Asetat)

Rizqi Ilman Mubarak, Dra. Lucia Aridinanti, M.T.
Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
email : luciaaridinanti@gmail.com

Abstrak—Berbeda dengan mobil pada umumnya, bobot mobil listrik memiliki bobot yang ringan supaya efisien dalam pemakaian energi. Untuk mencapai bobot yang ringan maka digunakan bahan baku styrofoam sebagai lapisan body mobil. Untuk merekatkan styrofoam dengan body mobil listrik digunakan sebuah perekat yaitu perekat PVAc yang terbuat dari bahan-bahan yaitu PVA, VAM, Surfaktan, Sodium Bikarbonat, Ammonium persulfat, Dibutil Phtalat, dan pelarut air. Perekat PVAc yang digunakan seringkali menggunakan air sebagai pelarut dalam pembuatannya, dimana perekat PVAc berbasis pelarut air biasa digunakan untuk merekatkan kayu sehingga dianggap kurang cocok jika digunakan untuk merekatkan body mobil listrik. Kualitas perekat dapat ditingkatkan dengan mengganti pelarut air dengan pelarut lain. Dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi perekat PVAc menggunakan pelarut air dan pelarut metanol dengan metode *mixture design* dan *fungsi desirability*. Pelarut merupakan variabel prediktor dan kualitas perekat PVAc berdasarkan *strain*, modulus elastisitas dan viskositas yang merupakan variabel respon. Pada penelitian ini terdapat lima sampel percobaan dengan proporsi air dan metanol yang berbeda-beda yaitu 0,625:0,375, 0,75:0,25, 0,875:0,125, 0:1 dan 0,6:0,4. Diperoleh model untuk masing-masing respon dengan nilai R^2 untuk model dengan respon *strain* sebesar 76,67%, R^2 untuk model dengan respon modulus elastisitas sebesar 97,88%, R^2 untuk model dengan respon viskositas sebesar 40,38%. Kemudian dengan fungsi *desirability* didapatkan respon yang optimum secara serentak dengan proporsi air 1 dan metanol 0, diperoleh nilai *strain* 1,599 MPa, modulus elastisitas 16,676 MPa dan viskositas 1664,4281 Cp.

Kata Kunci— air, *Desirability Function*, metanol, *Mixture design*, modulus elastisitas, Perekat PVAc, *strain*, viskositas

I. PENDAHULUAN

Produksi mobil listrik telah menjadi isu internasional, terutama di Indonesia. Sebabnya adalah mobil ini memiliki bahan bakar yang renewable yakni memakai baterai. Berbeda dengan mobil pada umumnya, mobil listrik

dituntut untuk memiliki bobot yang ringan agar efisien dalam pemakaian energi yang dikonsumsi. Di Indonesia sendiri masih sedikit industri yang mengembangkan dan memproduksi mobil listrik, diantaranya adalah pabrik mobil listrik di daerah Wringinanom, Jawa Timur. Karena body mobil listrik ini dituntut ringan, maka pada pembuatannya perlu digunakan styrofoam sebagai lapisan body mobil. Styrofoam yang terdapat pada body mobil ini berfungsi sebagai pelindung agar suhu dalam mobil tetap terjaga dan tidak terpengaruh suhu luar, disamping itu styrofoam adalah material ringan. Untuk membuat lapisan body mobil listrik dengan styrofoam ini, maka dibutuhkan suatu perekat antara styrofoam dan body mobil. Perekat yang sering digunakan di Indonesia pada saat ini adalah polimer polyvinyl acetate (PVAc) [6].

Polivinil asetat yang diproduksi di Indonesia adalah polivinil asetat berbasis pelarut air, dalam bentuk lem berwarna putih untuk perekat kayu dan semacamnya. Perekat kayu tersebut tidak cocok apabila digunakan untuk merekatkan material yang lebih keras, sehingga polivinil asetat tersebut dimodifikasi dengan pelarut bukan air yang terbukti memiliki sifat lebih baik dari polivinil asetat berbasis pelarut air [18].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Meiwiki (2014) tentang pembuatan sintesis perekat polyvinyl asetat. Sintesis tersebut terstabilkan oleh suatu dispenil yang mengandung kombinasi antara surfaktan anionik dan non-ionik, serta polivinil alkohol yang berperan sebagai agen pengemulsi. Hasil uji *Tensile Strength* menunjukkan produk PVAc dengan rasio pelarut metanol-air 1:3 memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi yaitu sebesar 17,891 MPa. Hasil uji viskositas menunjukkan bahwa PVAc dengan rasio pelarut metanol-air 2:3 memiliki nilai *strain* dan viskositas paling besar yaitu sebesar 1,636 Mpa dan 5000 cP. Dengan demikian pelarut metanol dapat meningkatkan ketahanan, sifat termal dan mekanik pada material polivinil asetat [13].

Optimasi *Mixture Design* sudah dilakukan oleh Haliza (2012) yaitu tentang optimasi formula *brownies* berbasis tepung talas Banten. Pada penelitian tersebut digunakan desain *mixture simplex lattice* dari *Response Surface Methodology* (RSM). Pengaruh komposisi formula dari tepung talas Banten kisaran 70-100% dan maizena kisaran 0-30% terhadap karakteristik tekstur dan organoleptik *Brownies* dipelajari. Signifikansi seluruh model regresi yang

menjelaskan pengaruh prosentase tepung talas dan maizena ditentukan dalam bentuk analisis ragam, nilai p dan R^2 . Hasil analisis ragam diperoleh seluruh respon memiliki nilai p yang signifikan dan R^2 diatas 0.8 (>80%). Berdasarkan hasil optimasi dari RSM diperoleh formula kombinasi tepung talas Banten dan maizena sebesar 86% - 14% dengan nilai desirability sebesar 0,812 adalah formula optimum dan mengandung 4,66% protein, 33,84% lemak, 15,20% air, 1,66% abu, 44,64% karbohidrat, dan 11,26% serat pangan. Secara keseluruhan panelis memberikan penerimaan yang baik dengan nilai 6,7 dari 9,0. Kandungan serat pangan *Brownies* tergolong tinggi (16.05% dari Angka Label Gizi pada setiap takaran saji), sehingga dapat digolongkan sebagai pangan sumber serat.

Kualitas dari perekat PVAc berbasis pelarut ait tersebut dapat ditingkatkan dengan mengganti pelarut air dengan pelarut lain. Oleh karena itu PVAc yang berbasis pelarut bukan air sangat diperlukan, khususnya bila dipakai untuk styrofoam. Dalam penelitian ini akan dilakukan dengan penggantian pelarut air dengan menggunakan metanol sehingga didapatkan produk solvent based PVAc. Metanol memiliki sifat kepolaran mendekati sifat kepolaran air, sehingga perlakuannya pun tidak begitu berbeda. *solvent based PVAc* diduga sangat kuat akan mengefisiensikan penggunaannya sebagai perekat untuk styrofoam. Kualitas dari perekat PVAc dapat diukur besar kekuatan tarikan atau disebut *strain*, ketahanan terhadap tarikan atau disebut *modulus elastisitas*, dan ketahanan terhadap gesekan atau disebut *visikositas* [13].

Mixture design merupakan percobaan dimana dalam rancangan percobaan yang akan dilakukan variabel (faktor) yang akan dicampur memiliki proporsi tertentu. Variabel tersebut dinamakan variabel *mixture*. Dalam penelitian ini proporsi pelarut merupakan variabel *mixture* yang digunakan untuk membuat perekat PVAc.

Penelitian ini akan dilakukan optimasi nilai *stress*, *modulus elastisitas* dan *visikositas* dalam pembuatan perekat PVAc menggunakan pelarut air dan metanol sebagai variabel prediktor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Response Surface

Apabila terdapat kelengkungan pada sistem maka order polinomial dengan derajat yang lebih tinggi harus digunakan seperti model order dua yang dinyatakan pada persamaan (1).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

Pendekatan order dua pada persamaan dapat dinyatakan dalam matrik sebagai berikut [14].

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \mathbf{x}'\mathbf{b} + \mathbf{x}'\mathbf{B}\mathbf{x} \quad (2)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \cdots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

B. Desirability Function

Ide dasar pendekatan *desirability function* adalah mengubah masalah *multiresponse* menjadi masalah *single respon* melalui transformasi matematika. Setiap respon dinyatakan pada serangkaian nilai antara 0,0 dan 0,1 yang mengukur respon pada nilai tertentu. Setelah fungsi ini didefinisikan untuk masing-masing respon, fungsi keseluruhan tujuan (*global desirability*) didefinisikan sebagai mean geometris dari *desirability* individu [2]. Nilai individual *desirability* indeks untuk masing-masing respon dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Apabila respon perlu untuk dimaksimumkan maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (3).

$$\left. \begin{aligned} y_i &= 0 & i < S_i \\ y_i &= [(i - S_i) / (H_i - S_i)]^{r_i} & S_i \leq i \leq H_i \\ y_i &= 1 & i > H_i \end{aligned} \right\} \quad (3) \quad (0.1)$$

Apabila respon perlu untuk diminimalkan maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (4).

$$\left. \begin{aligned} y_i &= 0 & i > H_i \\ y_i &= [(H_i - i) / (H_i - S_i)]^{r_i} & S_i \leq i \leq H_i \\ y_i &= 1 & i < S_i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Apabila respon perlu untuk mencapai target tertentu „Ti” maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (5).

$$\left. \begin{aligned} y_i &= 0 & i < S_i \\ y_i &= [(i - S_i) / (T_i - S_i)]^{r_i} & S_i \leq i \leq T_i \\ y_i &= [(i - H_i) / (T_i - S_i)]^{r_i} & T_i \leq i \leq H_i \\ y_i &= 0 & i > H_i \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

dimana,

i : nilai prediksi dari respon ke- i

r_i : bobot eksponensial

S_i : nilai minimum yang bisa diterima untuk respon ke- i

H_i : nilai maksimum yang bisa diterima untuk respon ke- i

\hat{y}_i : nilai individual *desirability* untuk respon ke- i

Individual *desirability* indeks kemudian dikombinasikan untuk memperoleh *global desirability index*, nilai *desirability* total dari keseluruhan respon yang digunakan. Persamaan yang digunakan untuk kombinasi tersebut ditunjukkan pada persamaan (4) [12].

$$D = (\hat{y}_1^{w_1} \times \hat{y}_2^{w_2} \times \dots \times \hat{y}_n^{w_n})^{1/\sum_{j=1}^n w_j} \quad (6)$$

keterangan:

D : *global desirability index*

w_j : bobot individual pada respon ke- j

n : banyak parameter respon

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder hasil penelitian dari [13]. Variabel yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Jenis	Satuan
Y_1	<i>Strain</i>	Respon	Mpa
Y_2	<i>Modulus Elastisitas</i>	Respon	Mpa
Y_3	<i>Visikositas</i>	Respon	cP (centipoises)
X_1	Air	Prediktor	ml (mili liter)
X_2	Metanol	Prediktor	ml (mili liter)

B. Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen yang telah dilakukan oleh [6] ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Rancangan Eksperimen

No.	metanol	air
1.	0.375	0.625
2.	0.250	0.750
3.	0.125	0.875
4.	0.000	1.000
5.	0.600	0.400

C. Bahan-bahan dalam Pembuatan Perekat PVAc

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan perekat PVAc adalah sebagai berikut :

1. Polivinil Alkohol 60 gram
2. Monomer Vinil Asetat 450 gram
3. Surfaktan 0.9 gram
4. Sodium Bikarbonat 2.29 gram
5. Ammonium persulfat (APS) 1.55 gram
6. Dibutil phtalat (DBP) 16.41 gram
7. Air demineralisasi
8. Metanol

Dengan campuran air dan metanol sebesar 743,9 mili liter

D. Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Mendapatkan model untuk tiap respon dari data yang diteliti menggunakan metode *response surface*.
2. Menguji kesesuaian model dengan pengujian secara serentak untuk melihat apakah variabel prediktor air dan metanol berpengaruh signifikan secara serentak.
3. Menguji kesesuaian model dengan pengujian secara parsial pada masing-masing variabel prediktor.
4. Melakukan uji terhadap asumsi residual yang meliputi uji residual berdistribusi normal, identik, dan independen.

5. Menyusun fungsi untuk global *desirability* menggunakan persamaan berdasarkan fungsi *individual desirability* dari masing-masing respon.
6. Mendapatkan nilai variabel prediktor yang memaksimalkan *global desirability*
7. Mendapatkan nilai optimum dari masing-masing respon menggunakan model *respon surface* yang telah terbentuk.
8. Menarik kesimpulan dan saran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Model untuk Variabel Strain

Model terbaik variabel respon *Strain* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Sebelum menentukan model terbaik terlebih dahulu dilakukan pengujian model yang meliputi uji parameter secara serentak, dan uji parameter secara parsial. Setelah didapatkan model terbaik, di-lakukan pula pengujian terhadap asumsi residual dari model respon *Strain*. Pengujian asumsi residual meliputi asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal ($0, \sigma^2$). Hasil pengujian secara serentak ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Analysis of Variance Respon Strain

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.8721	0.43608	3.18	0.239
Linear	1	0.37692	0.409172	2.98	0.226
Quadratic	1	0.4952	0.49524	3.61	0.198
metanol*air	1	0.4952	0.49524	3.61	0.198
Residual Error	2	0.2743	0.13715		
Total	4	1.1464			

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa Hasil pengujian parameter secara serentak dapat dilihat dari *p-value* regression yang nilainya lebih dari taraf signifikansi $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *strain*.

Setelah dilakukan pengujian serentak terhadap pengaruh prediktor, analisis dilanjutkan dengan pengujian parsial atau individual untuk melihat faktor mana yang memberikan pengaruh signifikan. Hasil pengujian parsial ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Uji Parsial Respon Strain

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	0.77	0.3633	2.11	0.16	1.547
Air	1.6	0.3405	4.69	0.04	1.782
metanol*air	-2.907	1.5298	-1.90	0.198	2.410

Berdasarkan tabel 4 dapat diketahui bahwa campuran air dan metanol tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Model untuk variabel Strain pada Persamaan (6)

$$\hat{y}_1 = 3,447\text{metanol} + 1.6\text{air} - 8.075\text{air} * \text{metanol} \quad (6)$$

Model untuk variabel respon *strain* pada Persamaan (6) mampu menjelaskan variasi total dari *strain* sebesar 76,07%. Dan telah memenuhi asumsi residual identik, independen dan berdistribusi normal.

B. Model untuk Modulus Elastisitas

Model terbaik dari respon *Modulus elastisitas* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan model terbaik yang pengujian model yang meliputi uji parameter serentak, dan uji parameter parsial. Kemudian dilakukan pengujian asumsi residual dari model yang terbentuk.

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *Modulus*. Pengujian ini meliputi uji serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor air dan metanol terhadap variabel *Modulus elastisitas* secara bersama-sama, dan uji parsial untuk mengetahui variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon *Modulus Elastisitas*. Hasil pengujian serentak respon *Modulus Elastisitas* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Analysis of Variance Response Modulus Elastisitas

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	2	11.998	5.9990	35.45	0.027
Linear	1	7.2095	6.7698	40	0.024
Quadratic	1	4.7886	4.7885	28.3	0.034
metanol*air	1	4.7886	4.7885	28.3	0.034
Residual Error	2	0.3385	0.1692		
Total	4	12.336			

Berdasarkan hasil pengujian parameter secara serentak dapat dilihat dari *p-value* regression yang kurang dari taraf signifikansi $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa paling sedikit terdapat satu variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel respon *Modulus elastisitas*.

Setelah dilakukan pengujian serentak, analisis dilanjutkan dengan pengujian parsial atau individual untuk melihat faktor mana yang memberikan pengaruh signifikan. Hasil pengujian parsial ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Uji Parsial Respon Modulus elastisitas

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	13.301	0.4036	32.95	0.00	1.547
Air	16.676	0.3782	44.09	0.00	1.782
metanol*air	9.039	1.6993	5.32	0.034	2.41

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa campuran metanol dan air berpengaruh terhadap respon. Model untuk variabel *modulus elastisitas* dinyatakan dalam persamaan (7)

$$\hat{y}_2 = 0.5432\text{metanol} + 16.6273\text{air} + 26.5065\text{air} * \text{metanol} \quad (7)$$

Model orde dua untuk variabel *Modulus Elastisitas* yang dinyatakan pada persamaan (7) mampu menjelaskan variasi total dari *Modulus Elastisitas* sebesar 97,88%. Model telah memenuhi uji asumsi residual identik, independen dan berdistribusi normal.

C. Model untuk Variabel Visikositas

Model terbaik untuk variabel respon *visikositas* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Model terbaik didapatkan dengan pengujian *lack of fit*, pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara parsial. Setelah didapatkan model dilanjutkan dengan pengujian terhadap asumsi residual dari model *visikositas* yang terbentuk.

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *visikositas*. Pengujian ini meliputi uji serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor terhadap variabel *visikositas* secara bersama-sama, dan uji parsial untuk mengetahui variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon *visikositas*.

Tabel 8 Analysis of Variance Respon Visikositas

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	2	6856821	3428411	0.86	0.537
Linear	1	4951692	4867407	1.23	0.384
Quadratic	1	1905129	1905129	0.48	0.56
metanol*air	1	1905129	1905129	0.48	0.56
Residual Error	2	7943179	3971589		
Total	4	14800000			

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil pengujian parameter secara serentak dapat dilihat dari *p-value* regression. Didapatkan *p-value* regression sama dengan 0,56 atau lebih dari taraf signifikansi $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *visikositas*. Hasil pengujian parsial terhadap respon *visikositas* ditunjukkan pada Tabel 9

Tabel 9 Uji Parsial Respon Visikositas

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	4482	1955	2.29	0.148	1.547
Air	1664	1832	0.908	0.459	1.782
metanol*air	-5702	8232	-0.69	0.56	2.410

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa campuran air dan metanol tidak berpengaruh signifikan terhadap respon *visikositas*. Namun, variabel tersebut tetap dimasukkan dalam model. Sehingga model untuk variabel *visikositas* dinyatakan dalam persamaan (8)

$$\hat{y}_3 = 12696\text{metanol} + 1664\text{air} - 15838\text{air} * \text{metanol} \quad (8)$$

Model dari respon *visikositas* pada persamaan (8) mampu menjelaskan variasi total dari *visikositas* sebesar 40,38%. Model telah memenuhi asumsi residual identik, independen dan berdistribusi normal.

D. Desirability Function

Analisis Desirability diawali dengan menyusun fungsi *individual desirability* pada masing-masing variabel respon *strain*, *Modulus Elastisitas*, dan *visikositas*. Fungsi *individual desirability* ini kemudian dinyatakan dalam fungsi *global desirability* yang nilainya dimaksimumkan sehingga didapatkan kombinasi level faktor air dan metanol yang optimum secara serentak.

1) Fungsi Individual Desirability

Analisis menggunakan *desirability function* diawali dengan menyusun *individual desirability* dari masing-masing variabel respon *strain*, *Modulus Elastisitas*, dan *visikositas*. *Individual desirability* disusun berdasarkan model orde dua dari masing-masing respon yang sudah didapatkan melalui analisis menggunakan *respon surface*, dan nilai spesifikasi yang diinginkan untuk masing-masing respon.

Fungsi Individual Desirability Variabel Strain

Setiap respon dapat memiliki fungsi *individual desirability* yang berbeda-beda tergantung dari tujuan optimasinya. Karena tujuan optimasi dari variabel respon *strain* adalah *higher the better* maka *individual desirability* untuk variabel *strain* dibentuk berdasarkan Persamaan (3). Sehingga fungsi *individual desirability strain* dinyatakan pada Persamaan (9).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_1 &= 0 & i < 0.5 \\ \hat{y}_1 &= [(i - 0.5) / (1.1 - 0.5)]^{r_i} & 0.5 \leq i \leq 1.1 \\ \hat{y}_1 &= 1 & i > 1.1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

\hat{y}_1 merupakan *individual desirability* untuk variabel *strain*, i adalah nilai taksiran *strain* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *strain* optimum atau i pada Persamaan (9) adalah model terbaik dari variabel respon *strain* pada Persamaan (6) yang telah didapatkan pada analisis *response surface*. *Desirability* untuk *strain* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 0.5 sampai 1.1. Sehingga untuk nilai *strain* antara 0.5 sampai 1.1 fungsi *desirability* dapat dinyatakan pada Persamaan (10)

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= \frac{(3,447 \text{ metanol} + 1.6 \text{ air} - 8.075 \text{ air} * \text{metanol}) - 0.5}{0.6} \\ &= \frac{(3,447 \text{ metanol} + 1.6 \text{ air} - 8.075 \text{ air} * \text{metanol}) - 0.5}{0.6} \end{aligned} \quad (10)$$

Persamaan 10 adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *strain*. Fungsi *individual* ini kemudian akan digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya.

Fungsi Individual Desirability Variabel Modulus Elastisitas

Sama dengan variabel *strain*, tujuan optimasi dari variabel *Modulus Elastisitas* adalah *Larger the better*. Karena tujuan optimasi dari respon *Modulus Elastisitas* adalah *Larger the better* maka *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas* dibentuk berdasarkan Persamaan (3) yang dinyatakan pada Persamaan (11).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_2 &= 0 & i > 13 \\ \hat{y}_2 &= [(i - 13) / (18 - 13)]^{r_i} & 13 \leq i \leq 18 \\ \hat{y}_2 &= 1 & i < 18 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

dimana \hat{y}_2 merupakan *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas*, i adalah nilai taksiran *Modulus*

Elastisitas optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *Modulus Elastisitas* optimum atau i pada persamaan (11) adalah persamaan untuk respon *Modulus Elastisitas* yang telah didapatkan pada analisis menggunakan *respon surface* yang ditunjukkan pada Persamaan (7). *Desirability* untuk *Modulus Elastisitas* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 13 sampai 18 sehingga didapatkan fungsi *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas* pada Persamaan (12).

$$\begin{aligned} \hat{y}_2 &= \frac{(0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol}) - 13}{18 - 13} \\ &= \frac{(0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol}) - 13}{5} \end{aligned} \quad (12)$$

Persamaan (12) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *Modulus Elastisitas*. Fungsi *individual* ini kemudian akan digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya.

Fungsi Individual Desirability Variabel Visikositas

Sama dengan variabel *strain*, tujuan optimasi dari variabel *visikositas* adalah apabila semakin besar nilainya maka semakin baik atau *higher the better*. Karena tujuan optimasi dari respon *visikositas* adalah *higher the better* maka *individual desirability* untuk variabel *visikositas* dibentuk berdasarkan Persamaan (3) yang dinyatakan pada Persamaan (13).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_3 &= 0 & i < 500 \\ \hat{y}_3 &= [(i - 500) / (6000 - 500)]^{r_i} & 500 \leq i \leq 6000 \\ \hat{y}_3 &= 1 & i > 6000 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Dimana \hat{y}_3 merupakan *individual desirability* untuk variabel *visikositas*, i adalah nilai taksiran *visikositas* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *visikositas* optimum atau i pada persamaan (13) adalah persamaan untuk respon *visikositas* yang telah didapatkan pada analisis menggunakan *respon surface* yaitu persamaan (8). *Desirability* untuk *visikositas* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 500 dan 6000 sehingga didapatkan fungsi *individual desirability* yang dinyatakan pada persamaan (14).

$$\begin{aligned} \hat{y}_3 &= \frac{(12696 \text{ metanol} + 1664 \text{ air} - 15838 \text{ air} * \text{metanol}) - 500}{6000 - 500} \\ &= \frac{(12696 \text{ metanol} + 1664 \text{ air} - 15838 \text{ air} * \text{metanol}) - 500}{5500} \end{aligned} \quad (14)$$

Persamaan (14) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *visikositas*. Fungsi *individual* ini kemudian akan digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya

2) Fungsi Global Desirability

Setelah didapatkan fungsi *individual desirability* dari masing-masing variabel respon maka ketiga fungsi tersebut selanjutnya dinyatakan dalam fungsi *global desirability*.

Fungsi *global desirability* pada penelitian dinyatakan pada Persamaan (15).

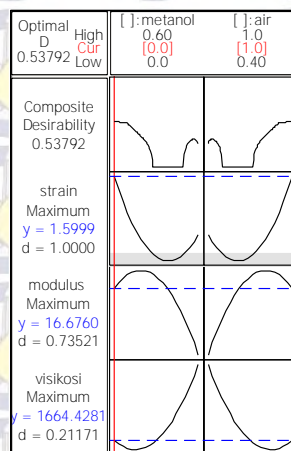
$$D = (Y_1^{0.33} \times Y_2^{0.33} \times Y_3^{0.33})^1 \quad (15)$$

Kemudian dengan memasukkan fungsi individual desirability variabel *strain* pada persamaan (10) sebagai Y_1 , Persamaan (12) sebagai Y_2 , dan persamaan (14) sebagai Y_3 fungsi *global desirability* dinyatakan pada persamaan (16).

$$D = \left(\frac{(3,447 \text{ metanol} + 1.6 \text{ air} - 8.075 \text{ air} * \text{metanol}) - 0.5}{0.6} \right)^{0.33} \times \left(\frac{(0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol}) - 13}{5} \right)^{0.33} \times \left(\frac{(12696 \text{ metanol} + 1664 \text{ air} - 15838 \text{ air} * \text{metanol}) - 500}{6000} \right)^{0.33} \quad (16)$$

D adalah fungsi *global desirability*, untuk mendapatkan kombinasi level faktor air dan metanol yang optimum maka Persamaan (16) dimaksimumkan nilainya.

Hasil optimasi serentak dengan pendekatan *desirability* menggunakan *minitab* didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 1 Pendekatan fungsi *desirability*

Berdasarkan Gambar 1 didapatkan hasil yaitu variabel respon maksimum dengan menggunakan komposisi air 1 dan metanol 0, yang menghasilkan respon strain 1,599 MPa, viskositas 1664,4281 Cp dan modulus elastisitas 16,676 MPa.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pemodelan terhadap masing-masing respon didapatkan model yang signifikan pada respon modulus elastisitas, dan residualnya memenuhi asumsi distribusi normal dan independen, sedangkan pada respon viskositas dan respon strain model yang didapatkan tidak signifikan.
2. Hasil optimasi dengan fungsi *desirability* Diperoleh hasil yaitu dengan proporsi air 1 dan metanol 0 dengan nilai *strain* 1,5999 MPa, *modulus elastisitas* 16,676 MPa, dan *viskositas* 1664,4281 Cp.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan dalam penentuan rancangan eksperimen dilakukan lebih cermat agar bisa didapatkan model yang baik untuk mengoptimasi perekat PVAc.
2. Dalam Optimasi multirespon menggunakan fungsi *desirability*, pemberian bobot pada tiap respon sebaiknya dapat ditentukan dengan lebih teliti agar didapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adamsons, Arthur W. (1982), "Physical Chemistry of Surface", A Wiley-Interscience Publication, United State of America
- [2] Castillo, D. E., Montgomery, D. C., & McCarville, D. D. (1996). Desirability Function for Multiple Response Optimization. *Journal of Technology*, Vol. 28, No. 3.
- [3] Daniel, W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- [4] Drapper, N. R., & Smith, H. (1992). *Analisis Regresi Terapan Edisi Kedua*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.
- [5] Erbil, Yildirim H., 2010, "Vinyl Acetate Emulsion Polymerization and Copolymerization with Acrylic Monomers", CRC Press, United State of America
- [6] Flavin C., dan N. Lenssen, (1995), "Gelombang Revolusi Energi", Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- [7] Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics: Fourth Edition*. New Delhi: The Mc-Graw Hill Companies.
- [8] Greenwood, N.N., 1997, "Chemistry of The Elements", Roed Educational and Profesional Publishing, UK
- [9] Khuri, A. L., & Cornell, J. A. (1996). *Response surface Design and Analysis*. New York : Marcell Dekker.
- [10] Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1980, "Encyclopedia of Chemical Technology 3rd edition Vol. 4", The Inter Science Encyclopedia, Inc., New York
- [11] Kumar, A., and Gupta, R.K., 1998, "Fundamental of Polymer", International Edition The Mc Graw-Hill Co Inc, Singapore
- [12] Majumder, A., Das, P. K., Majumder, A., & Debnath, M. (2014). An Approach to Optimize the EDM Process Parameters Using Desirability-Based Multiobjective PSO. *Taylor and Francis*, 14.
- [13] Meiwwika, Sari. (2014). *Sintesis Polivinil Asetat Berbasis Pelarut Metanol yang Terstabilkan oleh Disponil*. Tugas Akhir S1 : Jurusan Kimia, Institut Teknologi Nopember
- [14] Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley, Sons.
- [15] Myers, Raymond H. 1971. *Response Surface Methodology*, Boston : Allyn & Bacon, Inc.
- [16] Oxtoby, 2002, "Prinsip-prinsip Kimia Modern/1 Ed.4", Erlangga, Jakarta
- [17] Park, S. H. (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman&Hall.
- [18] Rolando T. E. (1998), *Solvent-Free Adhesives*, H.B. Fuller Company.